

# 長距離レーザー距離計を用いた天然ダム形状の計測

内田太郎\* 吉野弘祐\*\* 清水武志\*\*\* 石塚忠範\*\*\*\* 小竹利明\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

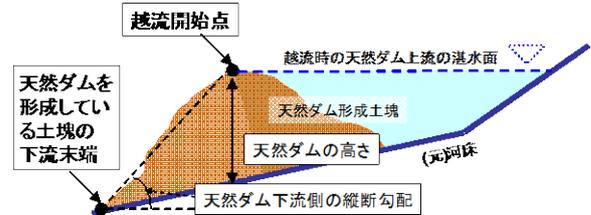
地震や豪雨により生じた天然ダムでは、天然ダム上流に溜まった水が越流することにより、天然ダムを形成した土塊にて急激な侵食が生じることがある。これにより大量な水と土砂が流出し、下流に甚大な被害を及ぼすことがある<sup>1)</sup>。このような天然ダムによる被害を軽減するためには、早期に天然ダムを発見し、形状を把握するとともに、被害の規模及び生じるおそれのある範囲を推定することが重要となる。近年、被害の規模の推定にあたって越流による天然ダムの侵食過程をモデル化した数値シミュレーション手法が提案され<sup>2)</sup>、天然ダムの位置や形状などが把握できれば天然ダムにおける越流侵食状況を良好に再現できることが報告されてきた<sup>3)</sup>。

天然ダムの早期発見、形状把握に関しては、航空機搭載型のレーザープロファイラーによる方法が検討され、早期に天然ダムが発見可能なこと<sup>4)</sup>や、詳細な天然ダムの形状が把握可能であること<sup>5)</sup>が示されてきた。しかし、依然として、レーザープロファイラーによる計測の場合は、機器が非常に高価な上、計測・解析に専門的な技術が必要であり、解析に時間を要することなどが課題となっている。

一方、これまでの数値計算を用いた研究などにより、越流により天然ダムが侵食される際のピーク流出量は、天然ダムの高さ、天然ダム下流側の縦断勾配 (図-1) の影響が大きいことが明らかにされてきた<sup>6)</sup>。すなわち、天然ダムの高さ、下流側の縦断勾配を簡易に早期に計測することができれば、数値シミュレーションの技術を用いて、天然ダムにより下流で被害の生じるおそれのある範囲を速やかに推定できる可能性がある。

そこで、本研究では、長距離計測可能なレーザー距離計を用いて天然ダムの高さ、下流側の縦断勾配を早期に計測する手法について、有効性を

(a) 天然ダム形成箇所の横断面図



(b) 天然ダム形成箇所の横断面図

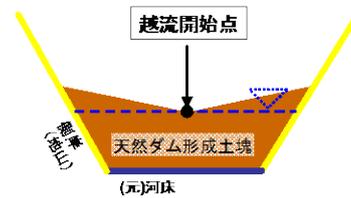


図-1 天然ダムの概念図

表-1 用いたレーザー距離計のスペック

計測距離		5 m~4,000 m
倍率		5 x
レーザー波長		1550 nm
精度	測距	±5 m
	測角(方位角)	±0.57°
	測角(仰角)	±0.17°

検討した。さらに、本研究では大規模地震時など山間部へのアクセスが困難になる場合を想定し、ヘリコプターからの計測の可否について検討した。

## 2. 検討した手法

本研究で用いたレーザー距離計は、計測者と計測の目標地点の2点間の距離、方位角、仰角・伏角の3項目の計測が可能である。用いた距離計のスペックは表-1に示した。さらに、レーザー距離計と市販の携帯型GPSとを接続することにより、計測者と計測の目標地点の2点間の距離、方位角、仰角・伏角の計測結果から自動的に目標地点の緯度、経度、標高の計測ができる。そこで、本研究では、レーザー距離計とGPSを用いて天然ダムの越流開始点 (天然ダムの各横断面における最低標高のうち最も標高の高い地点) と天然ダムを形成している土塊の下流末端 (図-1参照) の緯度、経度、標高の計測を行い、精度の検証を行った。



写真-1 沼倉裏沢の天然ダム (2010年9月27日撮影)



写真-2 計測風景

なお、ヘリコプター内では、ヘリコプター本体やその他計器による磁場の影響をレーザー距離計内部の方位角計測センサーが影響を受ける可能性が考えられた。そこで、本研究では、あらかじめ計測に用いる場合と同じレーザー距離計及びヘリコプター（国土交通省東北地方整備局「みちのく号」）を用いて既知の目標物を計測し、方位角計測センサーの補正を行った。

### 3. 検証方法

#### 3.1 検討対象

本研究では、2008年6月岩手宮城内陸地震で生じた天然ダムのうち、沼倉裏沢地区で生じた天然ダムを対象とした（写真-1）。沼倉裏沢地区の天然ダムは地震から1週間後の2008年6月21日未明に自然に越流し、天然ダムが侵食された。沼倉裏沢地区の天然ダムの詳細については参考文献<sup>7)</sup>を参照されたい。侵食後の天然ダム高さ及び越流開始点から下流末端までの水平距離は、後述のレーザープロファイラーデータによると、それぞれ約25m、約500mである。

#### 3.2 方法

手法の検証は、国土交通省東北地方整備局と土木研究所で行った天然ダムを想定した緊急調査に関する訓練にあわせて行った。同訓練は2011年1月26及び27日に行われ、26日に室内でレーザー距離計の使用方法について訓練を行った上で、翌日にヘリコプターからレーザー距離計を用いた天然ダムの計測を行った。

計測は訓練に参加した東北地方整備局の職員が行った。計測を行った職員は全員レーザー距離計による計測ははじめてであった。同訓練では3人一組、計4組で計測を行い、交代で3人とも天然ダムの越流開始点または天然ダムを形成している土塊の下流末端のいずれか1点を計測した。

はじめに、目標地点を視認しやすい場所に、ヘリコプターを誘導した上で、デジタルカメラで計測の目標地点周辺の写真を撮影した。次に、同じ組の3人で写真をカメラのモニターで見ながら協議し、目標の詳細な位置を特定した。すなわち、どこが計測の目標とすべき天然ダムの越流開始点かまたは天然ダムを形成している土塊の下流末端かを特定する訓練を行った、その上で、1人の計測者が1つの計測目標地点を連続して5回（一部3回）計測した。計測終了後、計測の目標とした地点をあとから確認できるように、画面の中央に目標とした地点が位置するように再度写真を撮影した。続いて、計測する職員が交代し、次の計測目標地点にヘリコプターを移動させた上で、前述の方法に従い次の地点の計測を行った。なお、今回の計測において、ヘリコプターと計測対象との距離は約400mであった。

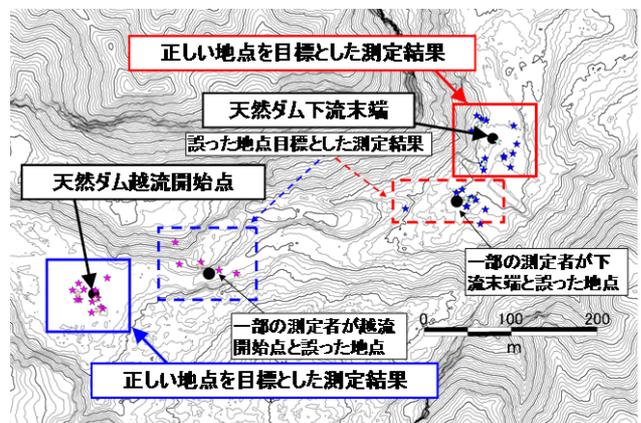


図-2 測定結果の平面図  
（黒丸は計測者が目標とした地点、星印は測定結果）

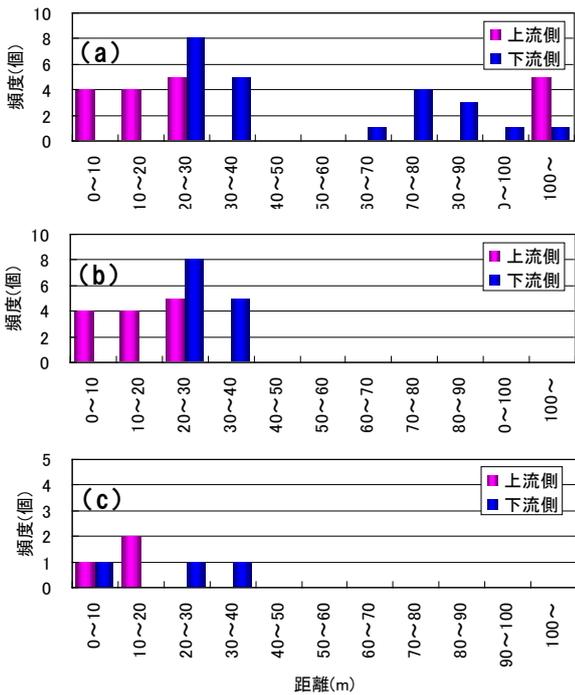


図-3 測定結果と実際の水平方向の差位：(a)全結果、(b)目標を正しく特定できた計測結果、(c)目標を正しく特定できた計測者の平均

一方、2009年4月取得のレーザープロファイラデータを用いて、天然ダムの越流開始点及び天然ダム下流末端の緯度、経度、標高を求めた。その上で、計測結果と比較し、本手法の適用性を検討した。ただし、GPSの出力値を転記する際の明らかなミスと考えられるデータについては以下の検討から除外した。

#### 4. 検証結果

##### 4.1 目標の設定

図-2に、レーザープロファイラデータを用いて作成した地形図上に計測された緯度経度及びデジタルカメラのデータから特定した計測の目標とした地点を示した。また、図には定義(図-1参照)とレーザープロファイラデータから天然ダム越流開始点と土塊の下流末端と考えられる地点を示した。図に示したように、天然ダム越流開始点の計測者のうち1名は、実際の越流開始点より120m下流の地点を目標に計測を行った。また、天然ダム土塊の下流末端の計測者のうち2名が80m上流の地点を目標としていた。一方、6名の計測者は、レーザープロファイラデータから求めた天然ダム越流開始点又は土塊の下流末端を目標として計測を行った。

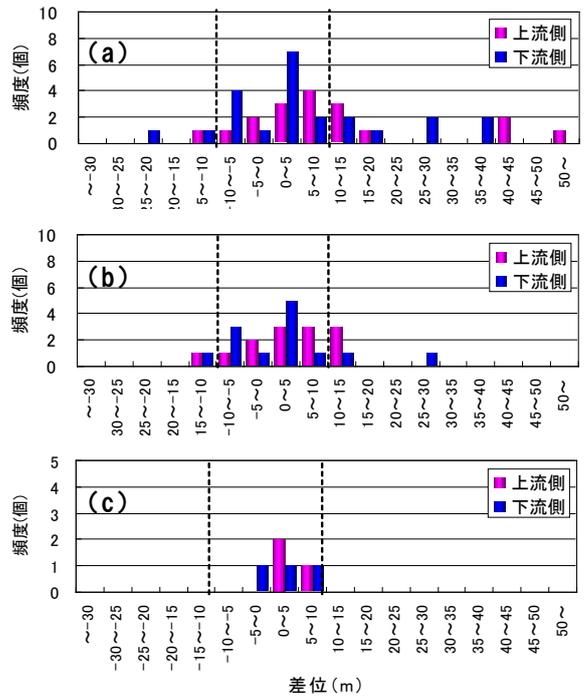


図-4 測定結果と実際の鉛直方向の差位：(a)全結果、(b)目標を正しく特定できた計測結果、(c)目標を正しく特定できた計測者の平均

##### 4.2 緯度経度の測定結果

次に、図-3aに緯度経度の計測結果と目標地点の緯度経度から求めた水平距離の差位の頻度分布を示した。図に示したように半数以上の計測結果と実際の差位は、40m以下であった。しかし、差位は大きい場合は100m以上に達した。

図-3aに示した差位は、①前節で示した誤った目標設定による差位と②計測による誤差の両者が含まれている。そこで、①の影響を取り除くために図-3bには、目標を概ね正しく特定できた計測者の計測結果(図-2中に青または赤実線で囲んだ範囲の結果)のみを用いて、計測結果と実際の差位を示した。さらに、目標を正しく特定できた計測者を対象に、5回の計測結果の平均から最もはずれた2回の結果を除き、残った3回から緯度経度を算出し、実際の差位を求めた(図-3c)。図-3bに示したように、目標を正しく特定できた場合、計測と実際の差位は最大で40mであった。さらに、約80%の確率で差位は30m以下であった。さらに、5回計測し、うち平均に近い3回を用いて平均した場合、差位は40m以下で、2/3の計測者が20m以下であった。

##### 4.3 標高の測定結果

緯度経度の検討同様、図-4a~cに、全計測結果と実際の標高との差位、目標を概ね正しく特定できた場合の計測結果と実際の標高との差位、目標

を正しく特定できた計測者の結果のうち最大最小の計測結果を省いた3回の平均と実際の標高との差位をそれぞれ示した。

図-4aに示すように、計測によっては実際の標高より50m以上高く計測される場合、20m以上低く計測される場合がみられた。しかし、目標を正しく特定できた場合は、どちらかと言うと高めに計測される場合が多いものの、+30m~-20mの範囲におさまっていた(図-4b)。さらに、目標を正しく特定できた計測者の最大最小の計測結果を省いた3回の平均は、+10m~-5mの範囲であり、2/3の計測者は±5m以内であり、良好な結果であった。

## 5. まとめと今後の課題

大規模な斜面崩壊等に起因する天然ダムが形成した場合に、数値計算による被害推定に及ぼす影響が大きい天然ダムの形状を速やかに計測する手法として、長距離レーザー距離計を用いた計測手法を提案し、実証実験を行った。その結果、それ以前にまったく計測の経験のないものであっても、目標地点を正しく特定できれば、ヘリコプターからでも、水平方向に20m以内、鉛直方向に概ね5m以内の精度で計測できることが確かめられた。また、今回、実証実験を行った参加者は同手法による計測の経験がなかったことを考えると、訓練を積み、精度が向上することと考えられる。

一方で、今回は既に越流が生じている天然ダムにおいて計測を行った。このことは、越流開始以前と比べて、天然ダムの越流開始点、形成土塊の下流末端などの位置を特定しやすかったと考えられる。しかしながら、計測者の一部は、目標地点

を正しく特定できず、実際と大きな差位を生むことになった。このことは、長距離レーザー距離計を用いた天然ダム形状の計測を精度よく行うためには、目標地点を正しく特定することが重要であり、正しい目標計測地点を特定する訓練がきわめて重要であると考えられる。

また、緊急時には調査においても各種の制約を受ける可能性が高く、ここで示した方法に限らず、多くの手法を準備し、適切に組み合わせることが望ましいと考えられる。

## 参考文献

- 1) 田畑茂清、水山高久、井上公夫：天然ダムと災害、古今書院、2002
- 2) 里深好文、吉野弘祐、水山高久、小川紀一郎、内川龍男、森俊勇：天然ダムの決壊に伴う洪水流出の予測手法に関する研究、水工学論文集 Vol.51、pp.901~906、2010
- 3) 田村圭司、内田太郎、吉野弘祐、森 俊勇、里深好文：岩手宮城内陸地震で発生した天然ダムの越流侵食状況の数値シミュレーション、土木技術資料、第52巻、第2号、pp.6~9、2007
- 4) 小山内信智、内田太郎、伊藤英之：レーザープロファイラーを用いた地震時形成天然ダム抽出手法、土木技術資料、第49巻、第9号、pp.42~47、2007
- 5) 吉野弘祐、内田太郎、田村圭司、小竹利明：天然ダム越流による侵食と土砂流出の実態：レーザープロファイラを用いた解析、砂防学会誌、Vol.63、No.5、pp.27~35、2010
- 6) 千葉 幹、森 俊勇、内川龍男、水山高久、里深好文：平成18年台風14号により宮崎県耳川で発生した天然ダムの決壊過程と天然ダムに対する警戒避難のあり方に関する提案：砂防学会誌、Vol.60、No.1、pp.43~47、2006
- 7) 内田太郎、松岡 暁、松本直樹、松田如水、秋山浩一、田村圭司、一戸欣也：天然ダムの越流侵食の実態：宮城県三迫川沼倉裏沢地区の事例：砂防学会誌、Vol.63、No.3、pp.23~29、2009

内田太郎\*



国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター砂防研究室(前 独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 主任研究員)  
Taro UCHIDA

吉野弘祐\*\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 交流研究員  
Kosuke YOSHINO

清水武志\*\*\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 研究員  
Takeshi SHIMIZU

石塚忠範\*\*\*\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 上席研究員  
Tadanori ISHIDUKA

小竹利明\*\*\*\*\*



国土交通省東北地方整備局河川部建設専門官  
Toshiaki KOTAKE